



УДК 536.2 + 621.1

К ВОПРОСУ ОБ ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛООБМЕННОГО ЭЛЕМЕНТА ВОЗДУШНОГО КОТЛА ПГУ-ВЦГ

TO THE PROBLEM OF OPTIMIZATION DESIGN AIR BOILER HEAT EXCHANGE ELEMENT SCHEME IGCC

Гильметдинова Юлия Радиковна, магистрант каф. «Тепловые электрические станции», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: y.gilmetdinova@mail.ru, Тел.: +7(982)622-49-85

Шмакова Лидия Александровна, студент 4 курса каф. «Тепловые электрические станции», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: sh.l.a.1995@mail.ru, Тел.: +7(912)622-80-02

Борисова Ольга Валериевна, студент 4 курса каф. «Тепловые электрические станции», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: sielo10@yandex.ru, Тел.: +7(912)647-66-10

Микула Владимир Анатольевич, канд. техн. наук, доцент каф. «Тепловые электрические станции», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: mikoula@yandex.ru. Тел.: +7(912)664-87-89

Julia R. Gilmutdinova, Master student, Department «Thermal power plants», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: y.gilmetdinova@mail.ru. Ph.: +7(982)622-49-85

Lydia A. Shmakova, 4th year student, Department «Thermal power plants», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: sh.l.a.1995@mail.ru. Ph.: +7(912)622-80-02

Olga V. Borisova, 4th year student, Department «Thermal power plants», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: sielo10@yandex.ru. Ph.: +7(912)647-66-10

Vladimir A. Mikula, Candidate of Engineering Sc., Associate Prof., Department «Thermal power plants», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: mikoula@yandex.ru. Ph.: +7(912)664-87-89

Аннотация: Рассмотрены различные подходы для расчета теплообменного элемента воздушного котла. Исследованы технические характеристики теплообменного элемента, а именно коэффициент теплоотдачи, удельная поверхность, длина теплообменного элемента и скорость воздуха, в зависимости от диаметра труб и давления воздуха.

Abstract: Different approaches are considered for calculating the heat exchange element of an air boiler. The technical characteristics of the heat exchange element, namely the heat transfer coefficient, specific surface area, length and air speed, are studied, depending on the pipe diameter and air.

Ключевые слова: воздух; рекуперативный нагрев; высокотемпературный воздухонагреватель; гибридная схема ПГУ; технические характеристики теплообменного элемента; зависимость от диаметра и давления.

Key words: air; recuperative heating; high-temperature air heater; combined-cycle power unit; Technical characteristics of the heat exchange element; dependence on the diameter and pressure.

Основная проблема высокотемпературных воздухонагревателей (ВВН) – это конструкционные материалы труб. Они должны быть достаточно термостойкими, но стоимость подобных металлов высока, например, металл марки ХН67ВМТЮ, рассчитанный на длительную работу при температурах до 950°C, стоит 3 млн.

руб./т. Исходя из вышесказанного следует, что при разработке высокотемпературного воздухонагревателя первоочередной задачей является снижение затрат на дорогостоящий металл, а для этого требуется детальное исследование как самой конструкции котла, так и теплообменных элементов котла.

В данной работе были исследованы технические характеристики теплообменного элемента в зависимости от диаметра труб в диапазоне от 6 мм до 60 мм и давления воздуха от 2 МПа до 6 МПа.

Для проведения необходимых расчетов было выделено 3 подхода исследований:

- 1) расчет неоребреного теплообменного элемента (ТОЭ) при условии равенства термических сопротивлений с наружной и внутренней стороны трубы ($R_{нар}=R_{вн}$);
- 2) расчет неоребреного ТОЭ при условии равенства термических сопротивлений с наружной и внутренней стороны трубы ($R_{нар}=R_{вн}$) с учетом конструкционных ограничений ($l \geq 4$ м);
- 3) расчет оребренного биметаллического ТОЭ при условии равенства термических сопротивлений с

наружной и внутренней стороны трубы ($R_{нар}=R_{вн}$).

Рассмотрим каждый подход в частности.

1. РАСЧЕТ НЕОРЕБРЕННОГО ТОЭ ПРИ УСЛОВИИ $R_{нар}=R_{вн}$

При расчете коэффициента теплоотдачи использовались зависимости из [1]. При этом во всех расчетах зазоры между трубами берутся фиксированные равные 76,2 мм по ходу газов и 3d поперек потока газов [2] для исключения забивания межтрубного пространства золой запыленного потока. Так же фиксированный зазор между ТЭО дает вклад в излучающую способность газа.

По результатам расчетов можно сделать вывод, что с уменьшением диаметра труб коэффициент теплоотдачи со стороны газов увеличивается,

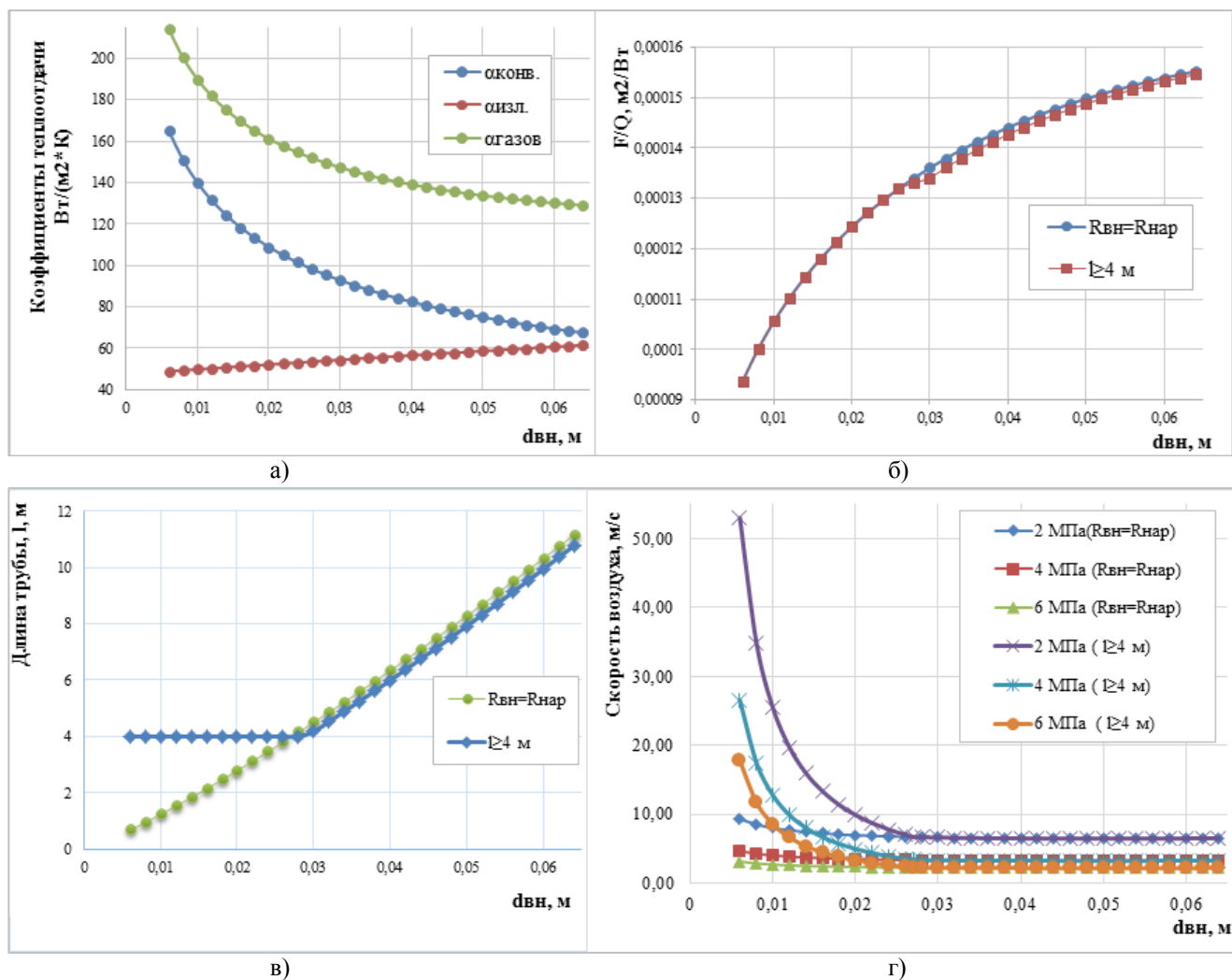


Рис. 1. Графики зависимостей для 1 и 2 подхода: а) зависимость коэффициента теплоотдачи от диаметра ТОЭ; б) зависимость удельной поверхности от диаметра ТОЭ; в) зависимость длины ТОЭ от его диаметра; г) зависимость скорости воздуха от диаметра ТОЭ

(рис. 1а), так же уменьшается толщина стенок используемых ТОЭ, что ведет к уменьшению металлоёмкости ТОЭ. Как видно на рис. 1б с увеличением коэффициента теплоотдачи с 130 Вт/(м²*К) до 214 Вт/(м²*К), удельная поверхность ТОЭ уменьшается в 1,65 раз (рис. 1б), а длина уменьшается с 11 м до 0,7 м (рис. 1в) и при этом скорость воздуха изменяется в приемлемых пределах от 2,18 до 9,33 м/с.

Однако при минимальном диаметре, например, 6 мм, которому соответствует длина 70 мм, использование традиционной компоновки котла не представляется возможным, что требует абсолютно другую компоновку котла и иные технические решения.

2. РАСЧЕТ НЕОРЕБЕННОГО ТОЭ ПРИ УСЛОВИИ ($R_{НАР}=R_{ВН}$), С УЧЕТОМ КОНСТРУКЦИОННЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ ($l \geq 4$ м)

Как уже отмечалось ранее для малых диаметров с соответствующими им длинами традиционная компоновка котла не подходит, поэтому были введены некоторые ограничения.

Для блока мощностью 300МВт классическим считается котел высотой 20 м, учитывая тот факт, что воздух в котле нагревается на 100°C в каждой секции с 400°C до 900°C, то, в общем, получается 5 секций по 4 м на каждую секцию. Исходя из этого, было введено ограничение по длине трубы: $l \geq 4$ м

В результате расчетов было определено, что использование диаметров в диапазоне от 6 мм до 28 мм с длиной трубы 4 м, ведет к резкому увеличению скорости в этом диапазоне до 53 м/с (рис. 1г), что приведет к дополнительным затратам на компрессоре.

3. РАСЧЕТ ОРЕБЕННОГО БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ТОЭ ПРИ УСЛОВИИ $R_{НАР}=R_{ВН}$.

В [3] была представлена конструкция биметаллической трубы. Оребрение обеспечивает интенсификацию теплопередачи и способствует удешевлению конструкции. Внутренняя труба конструкции состоит из жаропрочного сплава ХН67ВМТЮ, а наружная – из углеродистой стали 20 с защитным покрытием, разработанным Уральским институтом металлов [3].

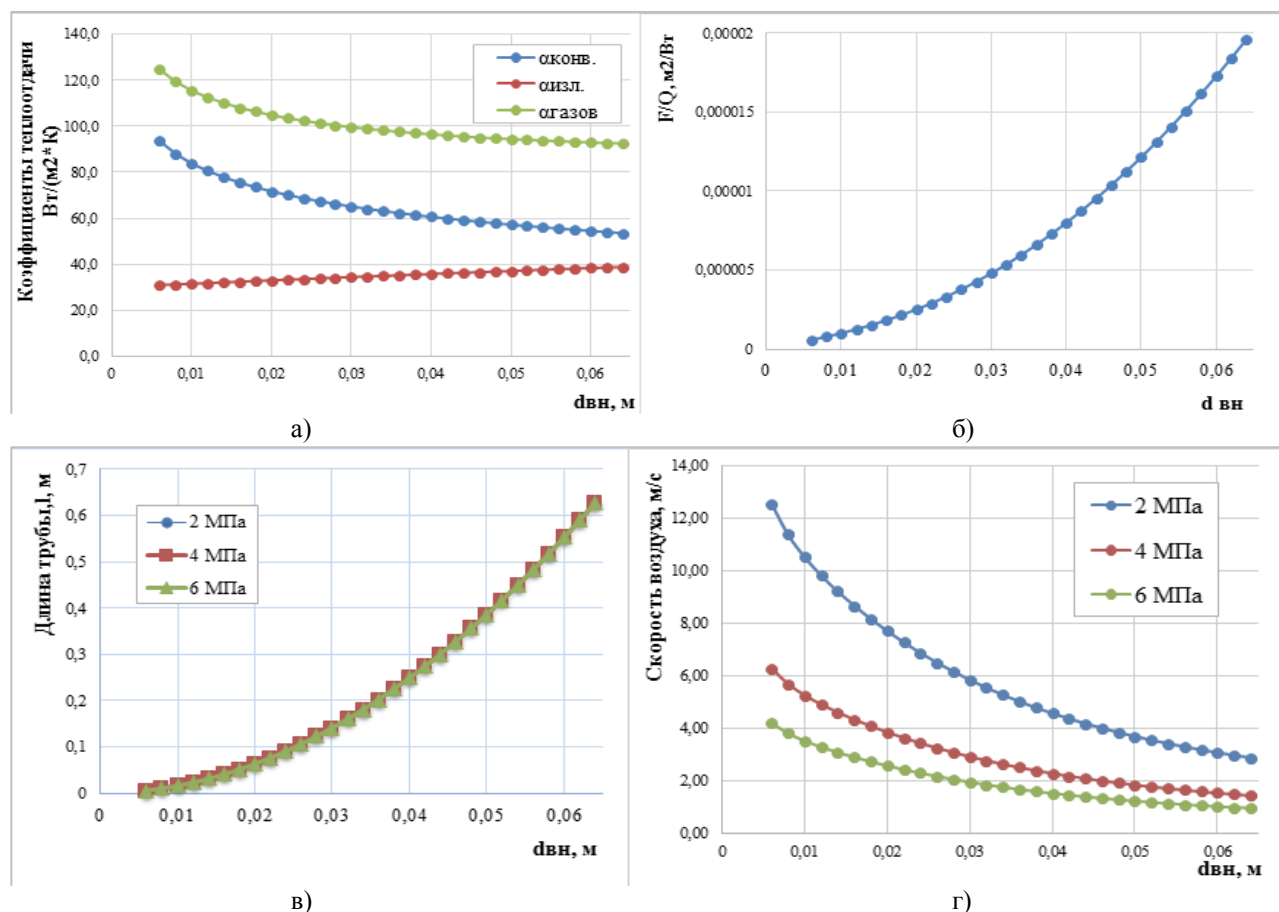


Рис. 2. Графики зависимостей для 3 подхода: а) зависимость коэффициента теплоотдачи от диаметра ТОЭ; б) зависимость удельной поверхности от диаметра ТОЭ; в) зависимость длины ТОЭ от его диаметра; г) зависимость скорости воздуха от диаметра ТОЭ

При использовании оребренной конструкции ТОО суммарная поверхность трубы увеличивается, что ведет к уменьшению коэффициента теплоотдачи со стороны газов по сравнению с 1 и 2 подходами (рис.1а, 2а). Однако удельная поверхность уменьшается в 33 раза (рис. 2б), что дает значительную экономию металла. При этом скорость воздуха находится в приемлемом диапазоне от 1 м/с до 12,5 м/с (рис. 2г). Однако длина ТОО получается от 6 мм до 60 мм (рис.2в), что является неприемлемым для классической конструкции, соответственно наряду с выигрышем в металлоемкости этот подход требует принципиально новую конструкцию котла.

ВЫВОДЫ

В ходе работы установить однозначный вариант для использования ТОО не представляется возможным, т.к. в каждом варианте есть как плюсы, так и минусы, поэтому результаты были сведены в табл. 1 и носят рекомендательный характер. В зависимости от поставленной задачи можно воспользоваться наиболее подходящим вариантом расчетов.

Однако однозначно можно судить о влиянии давления воздуха. При увеличении давления от 2 до 6 МПа скорость воздуха снижается ~ в 3 раза (рис 1г, 2г).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод). СПб.: изд-во НПО ЦКТИ, 1998. 255 с.
2. Final Technical Report. National Energy Technology Laboratory Pittsburgh, Pennsylvania, June 20, 1995 – March 31, 2001, 98 с.
3. Гильметдинова Ю.Р., Филиппов П.С., Микула В.А. Разработка и моделирование концепции теплообменного элемента конвективного высокотемпературного нагревателя компримированного воздуха. Труды первой научно-технической конференции молодых ученых Уральского энергетического института. Екатеринбург: ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», 2016. 291 с.

Таблица 1

Сравнительная таблица полученных результатов

	неоребранный ТОО при условии $R_{нар}=R_{вн}$	неоребранный ТОО при условии $R_{нар}=R_{вн}$, с учетом $l \geq 4$ м	оребранный биметаллический ТОО при условии $R_{нар}=R_{вн}$
Возможность использовать стандартные конструкции воздухонагревателя	нет	да	нет
Скорость воздуха, соответствующая стандартным режимам ($w \leq 20$ м/с)	от 2,18 до 9,33 м/с	от 2,18 до 53,03 м/с	от 0,97 до 12,56 м/с
Снижение удельной поверхности за счет снижения диаметра	в 1,65 раз	в 1,65 раз	в 33 раза